

Jakość pasz objętościowych w żywieniu przeżuwaczy i metody jej oceny

Cz. II. Metody analizy i oceny wartości pokarmowej pasz objętościowych

Franciszek Brzóska, Bogdan Śliwiński

*Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy,
Dział Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa,
32-083 Balice k. Krakowa*

Przyjęcie przez Polskę w latach 80. XX w. francuskiego systemu normowania pasz dla przeżuwaczy (INRA) wiązało się z równoczesnym przyjęciem tabel wartości pokarmowej pasz francuskich. Można przyjąć, że wartość pokarmowa pasz w wielu przypadkach (ziarno zbóż, nasiona roślin strączkowych, śruty poekstrakcyjne i makuch z nasion roślin oleistych) w obu krajach nie różni się znacząco. W zakresie pasz objętościowych, kiszzonek, siana i zielonek roślin pastewnych różnice mogą dochodzić do 15–20%. Nasze obserwacje wskazują, że w Polsce pasze objętościowe są na ogół gorszej jakości, co w odniesieniu do siana i kiszzonek z traw przypisuje się zbyt późnym terminom ich koszenia i zbioru, a w przypadku kiszzonek z kukurydzy – zbyt niskiej zawartości suchej masy. Dużą zaletą tabel francuskich jest ich szczegółowość, bowiem w przypadku zielonek traw obejmują różne gatunki i fazy wzrostu, a w przypadku kiszzonek różne pokosy, stosowane konserwanty i poziom suchej masy. Niedostatek informacji o paszach krajowych skłonił do podjęcia decyzji o systematycznym gromadzeniu informacji o paszach krajowych, głównie materiałach (surowcach) paszowych. Spotkało się to z życzliwością Departamentu Bezpieczeństwa Żywności i Weterynarii MRiRW, który finansuje te prace. Stworzono Bazę Danych Pasz Krajowych, uzupełnianą systematycznie o wyniki analiz pasz pozyskiwane w laboratoriach Instytutu Zootech-

niki PIB i w katedrach żywienia zwierząt i paszoznawstwa uczelni rolniczych. Dane o paszach są publikowane przez IZ PIB w odstępach 5-letnich i dostępne na stronie internetowej Instytutu.

Jakość pasz objętościowych dla przeżuwaczy, w tym bydła, charakteryzują takie wskaźniki, jak:

- zawartość suchej masy (SM),
- wartość wypełnieniowa (JWB, JWO),
- zawartość energii netto laktacji (EN) i energii netto żywca (EN),
- zawartość N-ogólnego (TN),
- zawartość białka paszy trawionego jelitowo (BTJ),
- zawartość białka mikrobiologicznego ze względu na dostępność N w żwaczu (BTJMN),
- zawartość białka mikrobiologicznego ze względu na dostępność energii w żwaczu (BTJME),
- polisacharydy ścian komórkowych (NDF, ADF),
- cukry proste i polisacharydy skrobiowe (NFC),
- struktura fizyczna (w przypadku paszy TMR i PMR).

Spośród witamin zawartych w paszach objętościowych duże znaczenie posiada karoten, jako prowitamina A. Jego zawartość jest wskaźnikiem jakości siana i czasu jego suszenia. Prze-

dłużające się powyżej 4–5 dni suszenie, przerywane opadami deszczu, powoduje rozkład 50–70% karotenu i 20–30% białka zawartego w roślinach. Poziom karotenu w kiszonkach jest znacznie wyższy ze względu na krótszy okres podsuszania i beztlenowe warunki przechowywania kiszonek, szczególnie z traw. Poziom karotenu w kiszonkach z kukurydzy jest niższy, szczególnie przy opóźnionym jej zbiorze, ze względu na proces ich destrukcji i rozkładu w okresie dojrzewania roślin kukurydzy, kiedy liście i łodygi intensywnie zasychają. Inne witaminy, a także składniki mineralne pasz objętościowych nie są uwzględniane w bilansowaniu diet pokarmowych dla przeżuwaczy, w tym bydła, a ich przyswajalność z pasz objętościowych jest niska i wynosi około 30–40% ich zawartości, poza chlorem, sodem i potasem. Przeważalność tych pierwiastków wynosi około 70–80%.

Na podstawie tabel wartości pokarmowej pasz wykonano programy komputerowe do opracowywania składu diet dla przeżuwaczy, w tym krów mlecznych, a także dla trzody chlewnej i drobiu oraz programy opracowywania składu mieszanek paszowych. W Polsce dostępny jest program francuski INRA, program INWAR do obliczania diet pokarmowych oraz program WINMIX do obliczania składu i wartości pokarmowej mieszanek paszowych. Dostępny jest również pakiet programów francuskich PrevAlim do obliczania diet pokarmowych dla przeżuwaczy (Baumont i in., 1999). Oprócz norm INRA–IZ, wykorzystywane są w Polsce niemieckie normy DLG, a w nielicznych elitarnych stadach krów amerykańskie normy NRC.

Dla potrzeb badań naukowych i praktyki hodowlanej niezbędne jest wykonywanie analiz chemicznych pasz wchodzących w skład diet pokarmowych oraz stosowanie równań regresji, pozwalających na wyliczenie energii i białka oraz aminokwasów trawionych jelitowo. Analizy pasz dzielimy na chemiczne, fizyczne i mikroskopowe, a także biotechnologiczne.

Metody analizy chemicznej pasz

Sucha masa i N-ogólny (SM, N-ogólny)

Zawartość suchej masy w zielonkach wynosi około 160–240 g/kg, w kiszonkach z traw podsuszonych 300–400 g/kg, a w kiszon-

kach z kukurydzy 280–340 g/kg. Poziom SM w próbkach siana, słomy i suszach wynosi około 880–900 g/kg. W oznaczaniu suchej masy pasz nastąpił znaczący postęp poprzez wprowadzenie wago-suszarek, pozwalających na przyspieszenie analizy. Nie powiodło się powszechne stosowanie kuchenek mikrofalowych, jakkolwiek badania w tym zakresie nadal trwają. Nie przyjęły się również metody oznaczania SM metodą destylacyjną z toluenem (Dewar i McDonald, 1961). Jej poziom w kiszonkach oznacza się metodą suszarkową z poprawką na zawartość substancji lotnych, produktów fermentacji (Dulphy i Demarquilly, 1981). Dokładna znajomość zawartości SM w paszach, w tym w objętościowych i pełnodawkowych (TMR, PMR), jest kluczowym elementem określenia pobrania diety, normowania pasz i komponowania diet dla zwierząt przeżuwających.

Opracowanie i upowszechnienie w ostatnich latach automatycznych analizatorów azotu, a także szybkich metod mineralizacji pasz znacząco przyspieszyło i zwiększyło wydajność analiz połączonych z miareczkowaniem, oznaczaniem ilości azotu w paszy (Kjeltek TM, Foss; Kjel-Flex, Buchi).

Tłuszcz surowy (TS)

Zawartość tłuszczu surowego oznaczana jako ekstrakt eterowy w paszach objętościowych waha się w przedziale 20–50 g/kg SM. Wyższa jest w paszach pełnodawkowych (TMR, PMR), zawierających makuch rzepakowy, pełne nasiona rzepaku lub tłuszcz chronione przed rozkładem żwaczowym. W makuchu rzepakowym może wahać się od 90 do 180 g/kg. Oznaczanie TS jako ekstraktu eterowego w paszach wykonywane jest metodą destylacji ciągłej w eterze naftowym (metoda Soxhleta) z wykorzystaniem urządzeń firm Foss lub Buchi. Niektóre laboratoria uniwersyteckie przeszły na oznaczanie TS wykorzystaniem aparatu ANKOM XT15 Extractor firmy Ankom (Ankom[®] Tech. Co., Fairport, NY, USA). Technika ta polega na równoczesnej ekstrakcji próbek pasz umieszczonych w woreczkach poliestrowych w naczyniu ekstrakcyjnym.

Metoda pozwala na jednorazową analizę 15 próbek, z możliwością analizy 150 próbek w czasie 8 godzin pracy. Została ona zaakceptowana przez American Oil Chemists Society (AOCS).

Włókno surowe (WS)

Zawartość włókna surowego w paszach objętościowych, zależnie od rodzaju paszy, waha się w zakresie od 150 do 300 g/kg suchej masy. WS jest frakcją ścian komórkowych pasz, zbudowaną z celulozy i hemiceluloz, inkrustowaną ligniną obniżającą strawność tego składnika w żwacu. Nie jest trawione przez zwierzęta monogastryczne, trzodę chlewną i drób. Do oznaczania zawartości WS w paszach stosuje się system hydrolizy etapowej alkalicznej i kwaśnej, a następnie przemywania i sączenia (Fibertec TM, Foss).

Hydroliza alkaliczna w roztworze ługu sodowego prowadzi do rozpuszczenia części składników włókna, które obniżają jego zawartość, a zawyżają zawartość związków bezazotowych wyciągowych, zawierających cukry proste i skrobię.

Metody wyliczania wartości energetycznej i normowania pasz dla przeżuwaczy nadal zawierają włókno surowe, ponieważ w wynikach prac eksperymentalnych, wykonanych przed 1970 r., nie było informacji o frakcjach ścian komórkowych (NDF, ADF), oznaczanych metodami detergentowymi. Upowszechniane są odmienne sposoby oznaczania WS, opracowane i wdrożone przez firmę Ankom, USA. Obejmują one również oznaczanie NDF i ADF przy użyciu aparatu ANKOM 2000 Automated Fiber Analyzer. Urządzenie pozwala na równoczesne analizowanie 24 próbek umieszczonych w woreczkach poliestrowych.

Obie techniki firmy Ankom – oznaczania tłuszczu i frakcji ścian komórkowych – oprócz zwielokrotnienia liczby analiz, wykonywanych w czasie dnia roboczego, dają dużą oszczędność zużywanych odczynników chemicznych, przy zadowalającej powtarzalności i od-twarzalności wyników analizy.

Związki bez N-wyciągowe (ZBNW)

Ten składnik pokarmowy nie jest oznaczany metodami chemicznymi, lecz wyliczany jako różnica pomiędzy masą organiczną (MO) a sumą białka ogólnego (BO), tłuszczu surowego (TS) i włókna surowego (WS). Składnik ten zawiera cukry proste, dwucukry, kilkucukry, skrobię i produkty jej hydrolizy. Zawiera również hemicelulozę rozpuszczalną w czasie alkalicznej hydrolizy ścian komórkowych.

Włókno detergentowe neutralne (NDF) i włókno detergentowe kwaśne (ADF)

Koncepcja oznaczania frakcji (składników) ścian komórkowych NDF i ADF zrodziła się w USA i została zaproponowana przez prof. Van Soesta z Uniwersytetu Ithaca w Nowym Jorku. Założył on, że pasze, w tym objętościowe, składają się ze ścian komórkowych (CWC – cell wall constituents) i zawartości wnętrza komórek (CC – cell contents). W skład CWC wchodzi: celuloza, lignina, pektyna, kutyna, produkty degradacji białek w reakcji Maillarda, woski i krzem. W skład CC wchodzi: białka rozpuszczalne, tłuszcze, N-niebiałkowy, amidy, kwasy organiczne, cukry rozpuszczalne, skrobia, pektyna, składniki mineralne, glukozydy, alkaloidy i tanina. W zaproponowanym przez niego systemie analitycznym (rys. 1) czynnikami ograniczającymi pobranie pasz i ich strawność oraz wartość energetyczną są składniki ścian komórkowych, oznaczane jako NDF i ADF. Hydroliza w detergentcie neutralnym daje składnik NDF, zawierający celulozę, hemicelulozy i ligniny. Dalsza kwaśna analiza paszy pozwala wyodrębnić składnik ADF, zawierający celulozę powiązaną z ligninami. Hydroliza próbki w 72% kwasie siarkowym pozwala oznaczyć zawartość ligniny wraz z kutyną i popiołem.

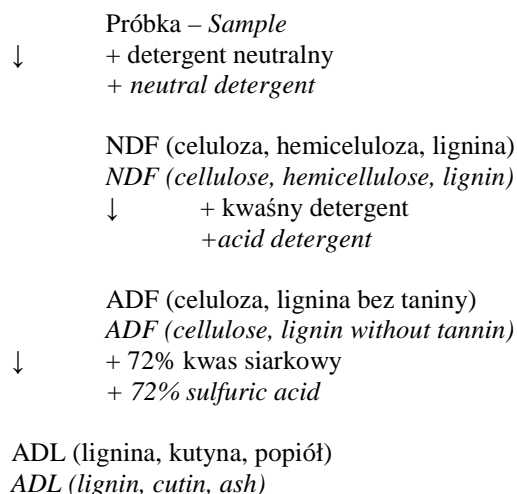
Współczesne systemy żywienia bydła, szczególnie krów, w szerokim zakresie wykorzystują oba składniki NDF i ADF w miejsce lub obok włókna surowego. Pomiędzy zawartością NDF w paszach i dietach dla bydła a strawnością masy organicznej występuje istotna zależność, co pozwoliło na wyprowadzenie równań do szacowania wartości energetycznej pasz (INRA, 2007). Istnieje również zależność pomiędzy NDF a pobraniem suchej masy przez bydło, co pozwala na jego szacowanie. Oznaczanie obu składników (NDF, ADF) w paszach znacząco uproszczono.

Firma Ankom proponuje urządzenie do analizy obu składników – ANKOM 220 Fiber Analyzer lub ANKOM 2000 Automated Fiber Analyzer. Analiza próbki przebiega jak włókna surowego w woreczkach poliestrowych, lecz w odmiennych roztworach hydrolitycznych.

Metodę oznaczania NDF zmodyfikowano dla pasz objętościowych zawierających skrobię, w tym kiszzonek z kukurydzy i pasz pełnodawkowych (TMR, PMR), zawierających mie-

szanki paszowe, ziarno zbóż lub wilgotne kiszzone ziarno kukurydzy. Modyfikacja metody polega na poprzedzającej hydrolizę detergentem – hydrolizie skrobi enzymem amyloglukozydazą (Southgate i in., 1978).

Odmiany kukurydzy w uprawie na kiszsonkę w fazie dojrzałości mleczno-woskowej zawierają 41–46% kolb w suchej masie plonu, stąd użycie enzymu rozkładającego polisacharydy skrobiowe jest koniecznością.



Rys. 1. Uproszczony schemat analizy NDF i ADF w próbkach pasz objętościowych (Van Soest i Robertson, 1980)

Fig. 1. Simplified diagram of NDF and ADF analysis in roughage samples (Van Soest and Robertson, 1979)

Cukry, skrobia i węglowodany niewłókniste (NFC)

Węglowodany pasz przyjęto dzielić na niestrukturalne (skrobiowe) i strukturalne (włókniste). Te pierwsze to cukry proste, dwucukry, kilkucukry (oligosacharydy) i skrobia. Węglowodany włókniste natomiast to celuloza, hemiceluloza i pektyny. Skrobia podatna jest na trawienie enzymami endogennymi trzustki i jelita cienkiego, amylazą, amylopektyną i amyloglukozydazą, natomiast celuloza i hemiceluloza rozkładane są do glukozy enzymami mikroorganizmów żwacza. Zawartość węglowodanów niestrukturalnych (NFC) wylicza się według wzoru (NRC, 2001):

$$NFC = 100 - PS - BO - TS - NDF$$

NFC tworzą cukry proste, dwucukry, produkty rozkładu skrobi, skrobia, a w kiszsonkach także kwasy organiczne jako produkty fermentacji cukrów prostych.

Znanych jest kilka metod oznaczania

frakcji węglowodanowej pasz, w tym skrobi. Skrobia zbudowana jest z cząsteczek glukozy, połączonych w łańcuchy proste wiązaniami pomiędzy atomami węgla 1–4 i wiązaniami 1–6 pomiędzy łańcuchami rozgałęzionymi. Oznaczanie skrobi jest określeniem uproszczonym. Zazwyczaj w paszach oznacza się sumę węglowodanów po enzymatycznej hydrolizie skrobi amyloglukozydazą, a następnie oznacza się sumę glukozy pochodzącej z cukrów prostych i ze skrobi. Dla wyliczenia ilości skrobi stosuje się przeliczniki wynikające z masy cząsteczkowej glukozy.

Metody analizy fizycznej pasz

W ostatniej dekadzie ubiegłego wieku rozwinęły się metody analizy fizycznej pasz. Zalicza się do nich spektroskopię w bliskiej podczerwieni (NIR). Metoda ta opiera się na pomiarze absorpcji struktur molekularnych występujących w substancji organicznej pasz. Są to połą-

czenia OH-, NH-, CH- i CO. Metoda ta nie wymaga zastosowania odczynników chemicznych i nie pozostawia toksycznych ścieków. Oznaczanie zawartości składnika pokarmowego polega na porównaniu widma fal próbki paszy w zakresie bliskiej podczerwieni do cyfrowego zapisu widma próbek tego samego rodzaju paszy, składnika oznaczonego metodami klasycznymi przez wyznaczenie tzw. krzywej kalibracyjnej, odmiennej dla każdej paszy. Informacje o danych dla każdego rodzaju pasz zgromadzone są w bazie danych, udostępnianej wraz z urządzeniem NIR (Kański, 2001 a,b; Kański i Kowalski, 2003, 2005). Zawartość badanego składnika uzyskujemy w czasie kilku minut z pominięciem analizy chemicznej. Technika NIR stosuje się do oznaczania zawartości suchej masy (wilgotności), białka ogólnego, tłuszczu surowego, włókna surowego, glutenu, popiołu surowego, skrobi, lizyny i metioniny oraz innych składników pokarmowych w materiałach paszowych, m.in. ziarnie i śrutach zbożowych, nasionach roślin strączkowych, nasionach roślin oleistych, sianie, suszu i kiszonkach (Kański i Pyś, 2005; Kański i in., 2006). Udoskonalone wersje aparatów NIR pozwalają na analizowanie ważniejszych składników w mieszankach paszowych, kiszonkach i paszach pełnodawkowych (TMR i PMR). Technika ta stosowana jest coraz powszechniej w przemyśle paszowym i granicznej kontroli materiałów paszowych na zgodność ich składu z dokumentacją przewozową mieszanek paszowych, a także w przemyśle mięsny i tłuszczowym, w systemie „on line”, np. do oznaczania suchej masy, tłuszczu i białka w przerabianej masie mięsnej.

Analiza mikroskopowa pasz i metody biotechnologiczne

Analiza mikroskopowa pasz stosowana jest do oznaczania zgodności składu mieszanki, deklarowanego przez producenta, ze składem faktycznym w zakresie wykrywania materiałów niedozwolonych do stosowania w paszach. Jest metodą obowiązującą w Unii Europejskiej do określania obecności w mieszankach paszowych niedozwolonego białka ssaków. Służy również do określania stopnia zanieczyszczenia materiałów paszowych i mie-

szanek paszowych nasionami chwastów, szczególnie tych o działaniu antyodżywczym (np. przytulii czepnej), dla których określono maksymalne dopuszczalne granice ich udziału w mieszankach paszowych dla drobiu. Analiza mikroskopowa mieszanek paszowych polega na identyfikacji cząstek paszy na podstawie obrazu mikroskopowego i budowy morfologicznej oraz określaniu ich udziału wagowego (procentowego) w paszy. Ma również zastosowanie do identyfikacji pasz jednorodnych. Metoda ta wypierana jest poprzez stosowanie techniki ELISA, opartej na reakcji immunologicznej, a także na podstawie łańcuchowej reakcji polimerazy DNA (analiza PCR). Ta ostatnia metoda, opracowana w Instytucie Zootechniki PIB i opatentowana, umożliwia określanie rodzaju gatunkowego białka ssaków w mieszankach paszowych, przy użyciu wzorców tego białka (Natonek i in., 2004; Natonek-Wiśniewska, 2008).

Ocena wartości energetycznej pasz objętościowych

Wartość energetyczną pasz charakteryzuje zawartość energii brutto (EB), energii strawnej (ES), energii metabolicznej (ME) i energii netto (NE) w przeliczeniu na jednostki produkcji mleka (JPM) i produkcji żywca (JPŻ). Pomiędzy strawnością suchej masy (SSM) i masy organicznej (SMO) a zawartością energii strawnej (DE) istnieje ścisła zależność określona współczynnikiem korelacji bliskim jedności ($r = 0,99$). Strawność SM i MO zależy od zawartości w paszy węglowodanów strukturalnych błon komórkowych i stopnia ich lignifikacji, szczególnie ADF i ADL. Dokładność szacowania (błąd szacowania) strawnej suchej masy i strawnej masy organicznej pasz maleje w miarę uwzględniania coraz większej ilości składników w równaniu regresji. Normy żywienia zwierząt (INRA-IZ, 2011) zawierają równania, na podstawie których można oszacować strawność masy organicznej (sMO) lub strawność energii (dE) pasz objętościowych w oparciu o:

- składniki pokarmowe paszy (np. BO, WS, ADF, ADL),
- strawność masy organicznej oznaczaną technikami *in vitro* z inokulum żwacza lub z enzymami: pepsyną i celulazą (Kellner

i Kirchgessner, 1977; Terry i in., 1978; Antoniewicz i Brzóska, 1980).

– susz z lucerny, $n = 31$, $dE = 1,003$ dMO – $3,00$; $R^2 = 0,97$; błąd $0,9$.

Szacowanie strawności masy organicznej (sMO) w oparciu o zawartość surowych składników pokarmowych wiąże się z błędem wynoszącym 2–4%. Lepsze wyniki daje szacowanie strawności masy organicznej w badaniach prowadzonych na zwierzętach *in vitro* z dodatkiem enzymów, dających błąd na poziomie 1–3% (Kirchgessner i Kellner, 1977). W Niemczech wdrożono metodę szacowania wartości energetycznej pasz, głównie objętościowych, z objętości gazów powstających w czasie fermentacji bakteryjnej próbki pasz z inokulum żwaczowym, przy uwzględnieniu poprawki na zawartość tłuszczu w paszy (Menke i Steingass, 1987). Poniżej podano kilka przykładowych równań szacowania strawności energii pasz objętościowych (wg INRA, 2007) ze strawnej masy organicznej (dMO, %):

- zielonka traw i roślin motylkowatych, $n=59$, $dE = 0,957$ sMO – $0,068$; $R^2 = 0,99$; błąd $0,6$,
- kiszonka z kukurydzy, $n = 27$, $dE = 1,001$ dMO – $2,86$; $R^2 = 0,96$; błąd $0,7$,

Oznaczenie strawności (dE, %) lub zawartości energii strawnej (DE, kcal, MJ) w paszach objętościowych daje możliwość szybkiego wyliczenia zawartości energii metabolicznej (ME) i energii netto (NE) zawartej w paszy. W oparciu o ścisłe badania żywieniowe, przeprowadzone w komorach respiracyjnych, wykonane dla określonych kierunków produkcji (produkcja mleka, wzrost cieląt i opasów), oznaczono proporcje pomiędzy zapotrzebowaniem energii na byt, procesy żwaczowe, wydzielanie moczku i syntezę mleka. Uzyskano równania regresji, dające możliwość przeliczenia zawartej w paszach energii strawnej na energię metaboliczną oraz energię netto laktacji i produkcji żywca. Na ich podstawie opracowano programy komputerowe, dające możliwość szybkiego szacowania wartości pokarmowej pasz i układania diet dla zwierząt.

Ustalono, że energia metaboliczna (ME) stanowi około 81% energii strawnej pasz objętościowych (DE), stąd przyjęte równanie ma postać (MAFF, 1975):

$$ME = 0,81 \times DE$$

$$ME \text{ (Mcal/kg SM)} = -0,45 + 1,01 \text{ DE (Mcal/kg SM)}$$

$$NE = EB \times sEB \times ME/DE \times k,$$

gdzie: *EB* – energia brutto; *sEB* – strawność energii brutto; *k* – współczynnik wykorzystania energii metabolicznej na produkcję mleka i żywca.

Energię netto można obliczyć stosując równanie:

$$NE = ME \times k$$

$$EM/DE = 0,8417 - (9,9 \times 10^{-5} \text{ WS}) - (1,96 \times 10^{-4} \text{ BO}) + 0,221 \times PZ,$$

gdzie: *WS* – włókno surowe; *BO* – białko ogólne; *PZ* – poziom żywienia, równy 1, jeśli wartość energetyczna diety odpowiada potrzebom bytowym zwierząt.

Współczynnik wykorzystania energii (*k*) metabolicznej (ME) na potrzeby laktacji i produkcji żywca przyjmuje się według równań (Van Es, 1975):

- produkcja mleka $k_l = 0,60 + 0,24 (q - 0,57)$ lub $k_l = 0,463 + 0,24 q$
- produkcja żywca $k_p = 0,78 q + 0,006$,

gdzie: $q = ME/EB$.

Energia rosnących zwierząt jest wykorzystywana tak, jak na potrzeby bytowe, stąd współczynnik wykorzystania energii na byt określa się jako k_b , zaś całkowite wykorzystanie

energii jako k_{bp} . Współczynnik całkowitego wykorzystania energii metabolicznej na produkcję żywca (k_{bp}) oblicza się według równania Harkinsa (Harkins i in., 1974):

$$k_{bp} = 0,3358 q^2 + 0,6508 q + 0,005/0,9235 q + 0,2830,$$

gdzie: $q = ME/EB$.

Wartość energetyczną paszy wylicza się z równania:

$$NE_l = ME \times k_l \text{ na produkcję mleka}$$

$$NE_z = ME \times k_{bp} \text{ na produkcję żywca}$$

Wartość $q = ME/EB$ na produkcję żywca zależy od przyrostów masy ciała, zatem poziomu produkcji (pp). Jego wartość wylicza się ze wzoru:

$$PP = NE_b + NE_p / NE_b,$$

gdzie: NE_b – zużycie energii netto na pokrycie potrzeb bytowych; NE_p – zużycie energii na przyrost masy ciała.

Przyjęto, że przy produkcji żywca należy założyć poziom produkcji $PP = 1,5$, co odpowiada przyrostom masy ciała wynoszącym 1,2 kg/d dla bydła mlecznego i 1,4 kg/d dla bydła mięsnego. Współczynnik wykorzystania energii metabolicznej paszy na energię netto (k_{bp}) ma postać:

$$k_{bp} = k_b \times k_p \times 1,5 / k_p + 0,5 k_b$$

Energję netto pasz w zaleceniach żywieniowych dla zwierząt odnosi się do wartości energetycznej jęczmienia (1700 kcal NE_l /kg). Wartość energetyczna wyrażona w jednostkach pokarmowych wynosi odpowiednio na:

- produkcję mleka (JPM) $NE_l = ME \times k_l / 1700$
- produkcję żywca (JPŻ) $NE_z = ME \times k_{bp} / 1820$

Szczegółowy opis wyliczania wartości energetycznej pasz według zaleceń INRA–IZ zawarty jest w zaleceniach żywieniowych przeżuwaczy, opracowanych przez Strzetelskiego i Brzósę (2011), które ukażą się drukiem na przełomie 2011 i 2012 roku.

Wartość białkowa pasz dla przeżuwaczy

Jakość białkowa pasz objętościowych charakteryzuje białko nie ulegające rozkładowi w żwaczu i białko mikrobiologiczne syntetyzowane w żwaczu, ze względu na dostępność azotu i energii uwalnianej z trawionej masy organicznej.

Wartość białkową paszy wyraża się jako ilość białka właściwego, trawionego w jelicie cienkim. Wartość białkową paszy oblicza się z:

- zawartości białka ogólnego (BO, g/kg),
- rozkładu białka ogólnego w żwaczu (r),
- zawartości strawnej masy organicznej fermentowanej w żwaczu (SMOF_z, g/kg).

Białko nierozkładalne w żwaczu określa się jako białko pochodzenia paszowego trawione w jelicie (BTJP). Zgromadzenie dużej ilości informacji o rozkładzie białka pasz i strawności jelitowej pozwoliło na opracowanie równań regresji do wyliczania wskaźników jakości białka (INRA, 2007). Zawartość BTJP w paszy (g/kg) oblicza się według wzoru:

$$BTJP = 1,11 (1 - r) \times BO \times sjp,$$

gdzie: $1.11(1-r)$ oznacza udział BO paszy nie ulegającej rozkładowi w żwaczu, s_{jp} – strawność białka paszowego w jelicie cienkim.

Kluczowym elementem oceny jakości białka paszowego jest oznaczanie jego rozkładu w żwaczu (Michalet-Doreau i Ould-Bah, 1992; Kowalski i in., 2008). Jego część ulegająca rozkładowi w żwaczu służy do syntezy białka mikrobiologicznego (BMŻ) i trawiona jest w jelicie jako białko pochodzenia mikrobiologicznego (BTJM). Wielkość syntezy białka mikrobiologicznego w żwaczu zależy od ilości dostępnego azotu (BTJMN) i energii uwalnianej z rozkładu masy organicznej (BTJME). Obydwa wskaźniki wylicza się ze wzorów:

$$BTJMN = 0,64(r - 0,1) \times BO$$

$$BTJME = 0,093 \times SMOF_z$$

Wartość białkową pasz, w tym objętościowych, wyraża się dwiema wartościami – BTJN i BTJE. Jest to białko trawione jelitowo paszy nierozkładalnej i pochodzącej z syntezy białka mikrobiologicznego, zależnie od poziomu N-amonowego uwalnianego w wyniku rozkładu masy organicznej w żwaczu:

$$BTJN = BTJP + BTJMN$$

$$BTJE = BTJP + BTJME$$

W precyzyjnie zbilansowanie diecie pokarmowej wartość BTJN równa się wartości BTJE. Nie występują wówczas straty azotu i energii (Strzetelski i Brzóska, 2011).

Ostatnio pozyskuje się coraz więcej informacji o składzie aminokwasowym białka trawionego jelitowo oraz zapotrzebowaniu aminokwasowym zwierząt przeżuwających. Zalecenia żywienia przeżuwaczy INRA (2007) oraz tabele wartości pokarmowej pasz francuskich wzbogacono o informacje o zawartości metioniny i lizyny w białku nierozkładalnym w żwaczu, co zwiększyło precyzję szacowania wartości białkowej diet dla zwierząt dla uzyskania zgodności z ich zapotrzebowaniem na aminokwasy.

Wartość wypełnieniowa pasz

Ta cecha jakościowa pasz objętościo-

wych przypisana jest każdej paszy z osobna i zależy głównie od ilości polisacharydów włókniстых (NDF, ADF) i ligniny (ADL), a ponadto od struktury paszy, głównie długości roślin i jej kawałków. Wartość wypełnieniowa (WW) paszy warunkowana jest przez jej dowolne pobranie przez zwierzęta poszczególnych gatunków przeżuwaczy (bydło opasowe, krowy mleczne, owce, kozy). Określa się ją w jednostkach wypełnieniowych (JW). Liczne eksperymenty żywieniowe wykazały, że dowolne pobranie pasz (PPO), przeliczone na tzw. metaboliczną masę ciała ($MC^{0,75}$), przyjmuje określone wartości dla poszczególnych gatunków, grup i stanów fizjologicznych zwierząt:

- 75 g SM/kg MC/kg $MC^{0,75}$ u owiec o masie ciała 60 kg,
- 95 g SM/kg MC/kg $MC^{0,75}$ u jałówek o masie ciała 400 kg,
- 140 g SM/kg MC/kg $MC^{0,75}$ u krowy dojrzałej o masie ciała 500 kg, wydajności 25 kg mleka (4% tłuszczu).

Przyjęto, że 1 kg suchej masy „paszy porównawczej” ma wartość wypełnieniową 1 jednostki (1 JW). Za paszę porównawczą przyjęto ruń pastwiskową o wartości pokarmowej 1 jednostki wypełnieniowej w 1 kg, o zawartości w suchej masie 15% białka ogólnego i 25% włókna surowego, strawności masy organicznej w wysokości 77% i wartości energetycznej 0,95 JPM/kg SM. Wartość wypełnieniową oblicza się zgodnie z podanymi wzorami:

- owce
 $JWO/kg SM = 75/PPO, do woli (kg SM)/ standardowego skopa (g/kg MC^{0,75}),$
- bydło rosnące i opasane
 $JWB/kg SM = 95/PPO, do woli (kg SM)/ standardową sztukę bydła pasowego (g/kg MC^{0,75}),$
- krowy mleczne i kozy
 $JWB/kg SM = 140/PPO, do woli (kg SM)/ standardową krowę (g/kg MC^{0,75}).$

Wartość wypełnieniowa, np. traw, zwiększa się w miarę upływu okresu wegetacji. Im wyższa wartość wypełnieniowa, tym mniejsza możliwość pobrania danej paszy przez przeżuwacze. Zdolność pobrania paszy przez zwie-

rzę (ZPP) określa się ilością jednostek wypełnieniowych, które zwierzę może pobrać dziennie z diety pokarmową (JW/d). Oznacza to, że standardowy skop ma zdolność pobrania paszy w ilości 1,62 JWO, rosnące lub opasane bydło 8,5 JWB, a krowa 17 JWK. Dla skopa odpowiada to 1,62 kg suchej masy „paszy porównawczej” o wartości wypełnieniowej 1 JWO/kg SM, natomiast słomy o wartości wypełnieniowej (WW) równej 2,31 JWO może pobrać tylko 0,7 kg SM.

Wartość wypełnieniowa pasz objętościowych zależy od budowy roślin pastewnych i sposobu ich rozdrobnienia, metody konserwacji (siano, kiszonka, susz), składu diety pokarmowej, w tym udziału paszy objętościowej w diecie pokarmowej oraz sposobu podawania pasz. Pasze objętościowe drobno pocięte przez sieczkarnie zbierające lub wozy paszowe pobierane są w większej ilości, stąd ich wartość wypełnieniowa jest niższa. Trawy w późniejszych fazach wzrostu, kisonki z całych traw, a także siano czy słoma posiadają wyższą wartość wypełnieniową, co oznacza niższe możliwości ich dowolnego pobrania przez zwierzęta przeżuwające.

Pasze pełnodawkowe PMR i TMR

Upowszechnianie się systemu żywienia krów paszami pełnodawkowymi PMR i TMR rodzi nowe problemy i zagadnienia wymagające pilnego rozwiązania. Pasza PMR (Party Mixed Ration) oznacza paszę częściowo pełnodawkową, gdzie część mieszanki paszowej podawana jest krowom, najczęściej o najwyższej wydajności w stacjach (boksach) paszowych, na podstawie elektronicznej oceny ich mleczności. Pasza TMR (Total Mixed Ration) oznacza dietę dla krów, gdzie każda z grup technologicznych otrzymuje mieszankę paszową wymieszaną w całości z paszami objętościowymi. System PMR stosowany jest w żywieniu krów w Zakładzie Doświadczalnym Sp. z o.o. Grodziec Śląski, ferma Kostkowice, natomiast system TMR stosowany jest w żywieniu krów w Zakładzie Doświadczalnym Kołbacz, ferma Dębina. Pasze pełnodawkowe przyrządza się w wozach paszowych (samobieżne, doczepiane do ciągników), wyposażonych w mieszadła składników paszy pełnodawkowej. Niektóre wozy paszowe wypo-

sażone są w noże tnące, pozwalające na cięcie komponentów paszy pełnodawkowej, np. siana lub słomy. Zasadniczym elementem jakości pasz pełnodawkowych, niezależnie od prawidłowego ich zbilansowania, jest struktura fizyczna diety.

Doskonalenie maszyn do zbioru roślin, szczególnie kukurydzy, może prowadzić do nadmiernego rozdrobnienia zakiszanej zielonki. Wozy paszowe z urządzeniami tnącymi dodatkowo rozdrabniają pasze. Pasze PMR i TMR z zasady zawierają pewne ilości kiszzonego wilgotnego ziarna kukurydzy czy młóta browarnianego oraz sypkiej mieszanki paszowej. Skutkuje to silnym rozdrobnieniem diety i przypadkami wadliwego jej trawienia żwaczowego. Ponadto, krowy segregują pasze pełnodawkowe, starają się wybierać w pierwszej kolejności pasze skrobiowe. Częściowo zapobiega temu wprowadzenie do paszy pełnodawkowej dodatku rozcieńczonej melasy. Nadmierne rozdrobnienie diety prowadzi do osłabienia trawienia żwaczowego celulozy, szybkiego rozkładu skrobi i obniżenia odczynu żwacza do pH około 5,5. Spowalnia to proces syntezy bakterii i pierwotniaków w żwaczu, osłabia proces trawienia i przyspiesza przepływ treści pokarmowej poprzez żwacz, przesuwając jego treść do trawieńca.

Pierwszym widocznym skutkiem niewłaściwej struktury diety PMR i TMR jest spadek zawartości tłuszczu w mleku, co jest wynikiem osłabienia produkcji kwasu octowego i masłowego. Jeśli dieta zawiera niewłaściwą strukturę przez dłuższy okres czasu, może wystąpić schorzenie określane jako prawo- lub lewostronne przesunięcie trawieńca u krów. Treść pokarmowa nadtrawiona w żwaczu zbyt wcześnie dostaje się do trawieńca, zalega i wywołuje stany zapalne tej części żołądka. Strukturę paszy pełnodawkowej można szybko oznaczyć przesiewając ją na sitach. Sito górne posiada oczka o średnicy 19,05 mm, sito środkowe – 7,87 mm, a sito dolne – 1,27 mm.

Prawidłowa struktura paszy pełnodawkowej powinna składać się z cząstek następującej wielkości:

- pozostających na górnym sicie w ilości co najmniej 15%,
- pozostających na środkowym sicie w ilości co najmniej 50–60%,
- pozostających na dolnym sicie w ilości nie większej jak 30–40%,

- przechodzących przez dolne sito, śladowe ilości.

Radykalną poprawę struktury paszy pełnodawkowej można uzyskać wprowadzając do niej pasze włókniste, nie fermentowane, np. siano lub dobrą słomę zbóż jarych, pocięte na siewkę długości 80–100 mm, w ilości 1–3 kg suchej masy/dobę. Pasze długie, nie fermentowane zwalniają żywocowy przepływ treści pokarmowej i ulegają rozkładowi w żywoczu w dłuższych okresach czasu.

Strukturę diety pokarmowej można ocenić również po analizie sitowej kału. Kał powinien zawierać cząstki o średnicy około 0,5 cm, z wyraźną strukturą włóknistą, która nie uległa strawieniu. Kał bez struktury włóknistej, mazisty i rzadki jest dowodem niewłaściwej struktury diety pokarmowej i nadmiernego jej rozdrobnienia.

Zagadnienie diet pełnodawkowych PMR i TMR wymaga dalszych badań, m.in. nad wykorzystaniem tej paszy w żywieniu młodego bydła opasowego, a także cieląt starszych i jałówek. Nie wyjedzone przez krowy pasze pełnodawkowe stosuje się na ogół w żywieniu bydła opasowego, jakkolwiek brak jest wyników badań naukowych w tym zakresie.

Podsumowanie

Określanie wartości energetycznej i biał-

kowej pasz na podstawie oznaczonych analitycznie składników pokarmowych czy strawności *in vitro* jest czasochłonne i kosztowne. Badania z tego zakresu pozwoliły na opracowanie elektronicznych baz danych, tabel wartości pokarmowej pasz i programów komputerowych do szybkiego szacowania jakości i wartości pokarmowej pasz objętościowych, a także do opracowywania diet pokarmowych dla zwierząt. Od kilku lat prowadzona jest w Instytucie Zootechniki PIB Baza Informacyjna Pasz Krajowych, mająca na celu gromadzenie informacji o paszach krajowych. Od około 20 lat rozwijana jest technika oceny wartości pokarmowej pasz na podstawie analizy spektralnej odbicia w bliskiej podczerwieni (NIR). Metoda ta obecnie pozwala na bardzo szybką ocenę materiałów paszowych, mieszanek paszowych i kiszonek (Kański i Kowalski, 2003, 2005). Do praktyki doradztwa żywieniowego wdrażany jest przenośny spektrofotometr NIR, pozwalający ocenić jakość pasz bezpośrednio w gospodarstwie, w tym jakość kiszonek. Podjęto próby wykorzystania techniki NIR do oceny wartości pokarmowej i jakości pasz pełnodawkowych TMR. Metoda ta nie jest wykorzystywana w badaniach naukowych ze względu na potrzebę większej precyzji oznaczeń. Spektrometria NIR, wraz z programami komputerowymi bilansowania diet dla zwierząt, w tym przeżuwaczy, może w niedługim czasie stanowić istotny przełom w praktycznym doradztwie żywieniowym.

Literatura

Antoniewicz A., Brzóska F. (1980). Systemy oceny wartości energetycznej pasz dla przeżuwaczy. Wyd. Instytut Zootechniki, ss. 1–10.

Baumont R., Champciaux P., Gabriel J., Andrieu J., Aufrere J., Michalet-Doreau B., Demarquilly C. (1999). Une démarche intégrée pour prévoir la valeur des aliments pour les ruminants: PréVALim pour INRAtion. INRA, Prod. Anim., 12: 183–194.

Dewar W.A., McDonald P. (1961). Determination of dry matter in silage by distillation with toluene. J. Sci. Agr., 12: 790–795.

Dulphy J.P., Demarquilly C. (1981). Correction de la teneur en matière sèche des ensilages. In: Prévision

de la Naleur Nutritive des Aliments des Ruminants. France; INRA Publications, 577 pp.

Harkins J., Edwards R.A., McDonald P. (1974). A new net energy system for ruminants. Anim. Prod., 19: 141–148.

INRA (2007). Alimentation des bovis, ovis et caprins. Besoins des animaux – Valeurs des aliments. Tables INRA 2007. Editions Quae.

Jarrige R. (1993). Żywienie przeżuwaczy. Zalecane normy i tabele wartości pokarmowej pasz. Wyd.: PAN, Jabłonna, ss. 405.

Kański J. (2001 a). Wpływ rozdrobnienia próbki na

- dokładność szacowania białka w zielonce z lucerny metodą NIRS. Ann. Warsaw Agric. Univ., Ser. Anim. Sci., Supl., ss. 79–86.
- Kański J. (2001 b). Wpływ wyrównania liczebności próbek pod względem zawartości składnika w zbiorze kalibracyjnym na dokładność szacowania białka ogólnego, włókna surowego i strawności masy organicznej metodą NIRS. Ann. Warsaw Agric. Univ., Ser. Anim. Sci., Supl., ss. 87–93.
- Kański J., Kowalski Z.M. (2003). Protein degradability of forage feeds in the rumen estimated by NIRS. Ann. Anim. Sci., Suppl., 2: 21–24.
- Kański J., Kowalski Z.M. (2005). Protein degradability of silages in the rumen estimated by NIRS. J. Anim. Feed Sci., Suppl., 14, 1: 567–570.
- Kański J., Pyś J.B. (2005). Szacowanie zawartości skrobi w kiszonkach z kukurydzy sporządzonych z udziałem dodatków białkowych i energetycznych metodą NIRS. Roczn. Nauk. Zoot., 22, Supl., 1: 149–153.
- Kański J., Kowalski Z.M., Rinne M. (2006). Estimation of nutrient digestibility of timothy silages using NIRS method. Pol. J. Nat. Sci., Suppl., 3: 73–77.
- Kellner R.J., Kirchgessner M. (1977). Estimation of forage digestibility by a cellulose method. Zeit. Tierphysiol., Tierernähr. und Futtermittel., 39, 1: 9–16.
- Kirchgessner M., Kellner R.J. (1977). Zur Schätzung der Unsetzbaren Energie von Grün- und Rauhfutter mit einfachen Kenndaten. Zeit. Tiererphysiol., Tierernähr. und Futtermittel., 38: 297–305.
- Kowalski Z.M., Strzetelski J.A., Niwińska B., Nowak W., Pająk J., Szyszkowska A. (2008). Standardowe metody oznaczania rozkładu białka pasz w przewodzie pokarmowym zwierząt przeżuwających. Wiad. Zoot., 46, 4: 53–58.
- MAFF (1975). Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Energy allowances and feeding systems for ruminants. Tech. Bull., No. 33, p. 79, HMSO, London.
- Menke K.H., Steingass H. (1987). Schätzung der energetischen Futterwertes aus der *in vitro* mit pansen-saft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. II Mitt., Regressionsgleichungen. Übersicht Tierernähr., 14: 53–94.
- Michalet-Doreau B., Ould-Bah M.Y. (1992). *In vitro* and *in sacco* methods for the estimation of dietary nitrogen digestibility in the rumen: a review. Anim. Feed Sci. Technol., 40: 57–86.
- Natonek M., Słota E., Żyga A., Rejduch B. (2004). The utilization of methods of identification of animal-origin components in feeds. J. Anim. Feed Sci., 13, 2: 73–76.
- Natonek-Wiśniewska M. (2008). Validation of a method for identification of bovine meat-and-bone meal using PCR. Ann. Anim. Sci., 8, 4: 323–328.
- NRC (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th Rev. Ed. Nat. Acad. Press, Washington, DC.
- Southgate D.A.T., Hudson G.J., Englyst H. (1978). The analysis of dietary fibre- the choices for the analyst. J. Sci. Fd Agric., 29: 979–988.
- Strzetelski J., Brzóska F. (2011). Zalecenia pokarmowe żywienia przeżuwaczy i tabele wartości pokarmowej pasz. Wyd. Instytut Zootechniki PIB (w druku).
- Terry R.A., Mundell D.C., Osbourn D.F. (1978). Comparison of two *in vitro* procedures using rumen liquor-pepsin or pepsin-cellulase for predicting of forage digestibility. J. Br. Gras. Soc., 33: 13–18.
- Van Es A.J.H. (1975). Feed evaluation for dairy cows. Livest. Prod. Sci., 2: 95–107.
- Van Soest P.J., Robertson J.B. (1980). System of Analysis for Evaluating Fibrous Feeds. In: Standardization of analytical methodology for feeds. W.J. Prigden, C.C. Balch, M. Graham (eds). Ottawa, Canada; International Development Centre, 128 pp.

QUALITY OF ROUGHAGES IN RUMINANT NUTRITION AND METHODS
FOR ITS EVALUATION
PART II. METHODS FOR ANALYSIS AND EVALUATION OF NUTRITIVE VALUE
OF ROUGHAGES

Summary

This review paper discusses methods for chemical analysis and evaluation of the nutritive value of roughages, including the energy and protein value. Grounds are given for the determination of NDF and ADF cell wall fractions instead of crude fibre determination. Sample formulas are provided for estimating feed digestibility *in vitro* and for calculating net energy content and feed units. Basic indicators of feed protein value and formulas for their calculation are mentioned. Grounds are given for the calculation of fill unit, and some aspects of complete feed (PMR, TMR) quality in nutrition of cattle, including dairy cows, are discussed. The conclusion focuses on the development of near infrared spectroscopy (NIR) in practical evaluation of feed quality and nutritive value, the significance of these methods for extension on cattle nutrition, as well as the importance of biotechnological methods for determination of the amount and species composition of animal protein in feeds.



Krowy rasy Charolaise, stado Węgierce k. Inowrocławia
Charolais cows, Węgierce herd near Inowrocław (fot. B. Borys)